

RESPUESTA DE LA VARIEDAD ECU-01 A NIVELES DE N EN SUELOS DEL ORDEN INCEPTISOL Y VERTISOL

Mónica Salazar C¹, Miguel A. Sánchez¹ y Douglas Castro A¹.

¹ Responsable y Asistentes del Área de Suelos y Fertilizantes del Centro de Investigación del Ecuador (CINCAE), respectivamente. msalazar@cincae.org, msanchez@cincae.org y dcastro@cincae.org

RESUMEN

Con la finalidad de obtener una función de respuesta de la variedad ECU-01 a la fertilización nitrogenada, se realizó un experimento en dos tipos de suelos representativos del orden Inceptisol (ingenios ECUDOS y Valdez) y Vertisol (ingenio San Carlos). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y cuatro niveles de N (35, 88, 141, 194 kg ha⁻¹), con una fertilización base de 90, 200 y 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, K₂O y S, respectivamente. Los resultados, mostraron que la mayor respuesta de producción de caña y azúcar se encontró en el nivel de 141 kg ha⁻¹ de N, detectándose eficiencias agronómicas diferentes en cada localidad entre 160, 47 y 38 kg de caña adicional por cada kg de N aplicado; además, el requerimiento de N por tonelada de caña fue entre 1.71, 1.34 y 0.77 kg de N para el ingenio Valdez, ECUDOS y San Carlos respectivamente. En general, la producción de caña y azúcar de la var. ECU-01 dependió del tipo de suelo, localidad, manejo del cultivo y condiciones climáticas.

INTRODUCCIÓN

Las cantidades de nitrógeno (N) como fertilizante para las producciones comerciales de caña de azúcar son consideradas altas, debido a la gran cantidad de biomasa que la planta produce en las condiciones ambientales de la Cuenca Baja del Río Guayas. Además del alto costo del fertilizante, este puede perderse en el ambiente causando varias implicaciones; por tanto, hay una necesidad de optimizar la provisión de N al requerimiento de la caña (Thorburn, et al., 2005).

Considerando que cada cultivo o variedad tiene sus propias exigencias para llegar a una óptima producción en un ambiente determinado, es importante conocer los requerimientos

nutricionales. Uno de los estudios que se realizan es el de absorción que permite definir programas de fertilización a recomendar; ya que, ayuda a conocer la cantidad del nutriente (kg ha^{-1}) que es absorbida por un cultivo para producir un rendimiento dado en un tiempo definido. Sin embargo, este estudio es válido cuando se lleva a cabo bajo condiciones nutricionales y ambientales óptimas para evitar disminuir la producción. Además, considerando que cada variedad presenta características específicas de producción, es necesario evaluar este aspecto en cada una de ellas (Bertsh, 2003).

ECU-01 es la primera variedad que ha mostrado buena producción de caña y azúcar en varios ensayos semicomerciales establecidos por el programa de variedades en diferentes tipos de suelos de los tres ingenios azucareros. Sus niveles de producción han fluctuado entre 90 y 110 TCH en caña planta y entre 60 y 140 TCH en caña soca (CINCAE, 2004; CINCAE, 2005), con fertilizaciones comerciales de cada ingenio (80 y 120 kg ha^{-1} de N).

Un primer estudio para determinar la cantidad óptima de N y alcanzar la máxima producción en la ECU-01 fue realizado en el periodo 2005-2006. El ensayo se estableció en suelos del orden inceptisol, y se identificó que la aplicación de 40 y 80 kg ha^{-1} de N tanto en caña planta como en soca sería suficiente para obtener una alta producción de caña y azúcar en dos ingenios azucareros (Valdez y San Carlos) (CINCAE, 2006; CINCAE 2007b).

De los resultados de este ensayo surgen dos hipótesis: la ECU-01 es una variedad muy eficiente en tomar el N del suelo o el suelo tuvo suficiente N que la aplicación de este fertilizante no tuvo efecto en la producción. Esta variación de uso del fertilizante N incentivó a CINCAE a realizar un nuevo estudio para determinar una función de respuesta a la aplicación de este elemento; así como, determinar la extracción de N de la ECU-01 en suelos representativos de los ingenios azucareros.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en suelos del orden Inceptisol (Valdez y ECUDOS) y Vertisol (San Carlos), sembrado en los tres ingenios azucareros en julio de 2007. Los dos primeros pertenecen a los subgrupos Fluventic Haplustept y Vertic Ustropepts con una clase textural

franco arcillo limoso a arcillosa. En Valdez este tipo de suelo representa el 58.89 % del área total cañera; mientras que, en ECUDOS representa el 45.70 % en la división 1 “La Troncal”. En San Carlos, el tipo de suelo pertenece al subgrupo Typic Haplustert (C0) de textura franco arcilloso correspondiendo al 12 % del área total de producción de caña. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y cuatro niveles de N; y, se usó la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para tratamientos.

En las tres localidades, se aplicó una fertilización base de 90, 200 y 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, K₂O y azufre (S), respectivamente. En todos los tratamientos el P y K se aplicó al momento de la siembra recibiendo 35 kg N ha⁻¹, debido a que se usó DAP, como fuente de fósforo. El resto de N se dividió en dos partes, la primera fracción se realizó a los 45 días después de la siembra (dds) y la segunda se aplicó a los 90 dds. La fertilización con azufre se realizó conjuntamente con la primera fracción de N.

Los suelos de las tres localidades, presentaron un pH ligeramente ácido (6.4-7.0), con un bajo porcentaje de materia orgánica (< 1.5 %) especialmente en ECUDOS. Los rangos en P (4-10 ppm), K (0.07-0.2 meq 100g) y Fe (14 – 20 ppm) son bajos en San Carlos y Valdez. El Zn fue bajo en las tres localidades (<0.3 ppm) y el resto de nutrientes están entre niveles medio a altos.

El análisis foliar se realizó a los tres y seis meses después de la siembra (mds) y la absorción del N por toda la planta a los 11 mds. El N se determinó por el método de Kjeldahl por espectrofotometría (CINCAE, 2007). Para estimar la demanda de N se consideró el peso seco de los tejidos (kg ha⁻¹) y su respectiva concentración de N (%). El muestreo de la biomasa se realizó en la etapa de madurez fisiológica, seleccionándose 10 tallos al azar de las cuatro hileras centrales de la unidad experimental, y se separó en hojas, cogollos y tallos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta de la variedad ECU-01 a la aplicación de nitrógeno (N)

En las tres localidades la aplicación de 141 kg N ha⁻¹ tuvo el mayor tonelaje de azúcar por hectárea. En el ingenio San Carlos y ECUDOS, a pesar de no presentar un alto tonelaje de caña permitió obtener una mayor concentración de azúcar (12.2 y 13 % pol), dando como

resultado entre 11 y 13 TAH, respectivamente. En Valdez, este nivel, alcanzó hasta 20 TAH con el más alto tonelaje de caña 145 TCH (Figura 1). Sin embargo, cuando no se aplica nada de fertilizante, el tonelaje de azúcar se redujo entre 3 a 6 TAH menos, dependiendo de la localidad (Figura 1).

Este resultado no concuerda con el obtenido en otro experimento, donde la máxima producción de caña y azúcar se obtuvo con apenas 40 kg de N ha⁻¹ en suelos del orden inceptisol en caña planta (CINCAE, 2006), probablemente el contenido de MO (2.7 %), fue un factor que influyó en la respuesta a la aplicación del fertilizante. En este ensayo, los suelos presentaron una concentración menor a 2.0 % de MO, especialmente en ECUDOS, que presentó un rango de 0.7-0.9 % de MO.

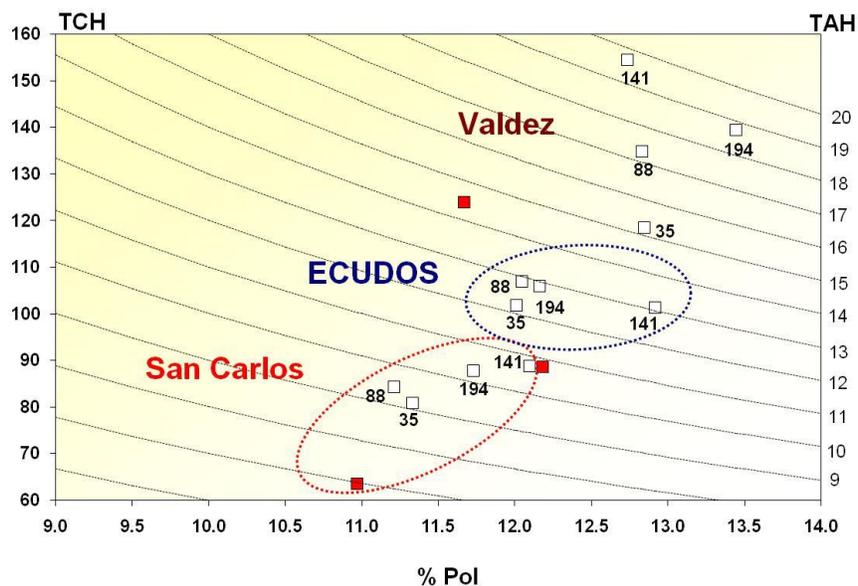


Figura 1. Tonelaje de caña y azúcar por hectárea de la var. ECU-01 en caña planta, en tres localidades. 2008

Quintero, (1995); Casman et al., (2002) manifiestan que la necesidad de N varía con el tipo de suelo, el número de cortes y la variedad utilizada. Sin embargo, el contenido de MO del suelo, es un factor muy importante que influye en las respuestas de aplicación de N, detectándose mayores respuestas en suelos con bajo contenido de MO, drenajes no adecuados y con niveles freáticos muy superficiales en algunas épocas del año.

Las producciones de caña y azúcar alcanzadas con la dosis de 141 kg ha⁻¹ de N fue diferente en cada localidad, detectándose incrementos de 80 y 19 %, en los suelos estudiados de los ingenios Valdez y ECUDOS, respectivamente, con respecto al suelo Vertisol del ingenio San Carlos. Esta variación en sus respuestas pudo ser afectada principalmente por las condiciones climáticas, suelo y de manejo de cada ingenio. Dobermann y Witt (2002) señalan que el rendimiento potencial difiere entre sitios, lotes y años; así como, por la variación climática, diferencia entre genotipos y hasta el periodo de establecimiento. Por otra parte, Palma-López et al., (1998) citado por García, (2006) encontraron una gradiente de producción potencial dependiendo del tipo de suelo, detectándose la menor producción de caña en suelos vertisoles del ingenio Benito Juárez, México.

Relación entre el N aplicado y el TCH

En las tres localidades, los incrementos de N presentaron un efecto lineal en el tonelaje de caña por hectárea (TCH), presentando correlaciones significativas ($R^2=0.80$, en San Carlos y ECUDOS; y $R^2= 0.5$, en Valdez) (Figura 2). Similar respuesta se presentó en un suelo Inceptisol del ingenio San Carlos, en primera soca (CINCAE, 2007b); mientras que, en caña planta no hubo ningún efecto (CINCAE, 2006).

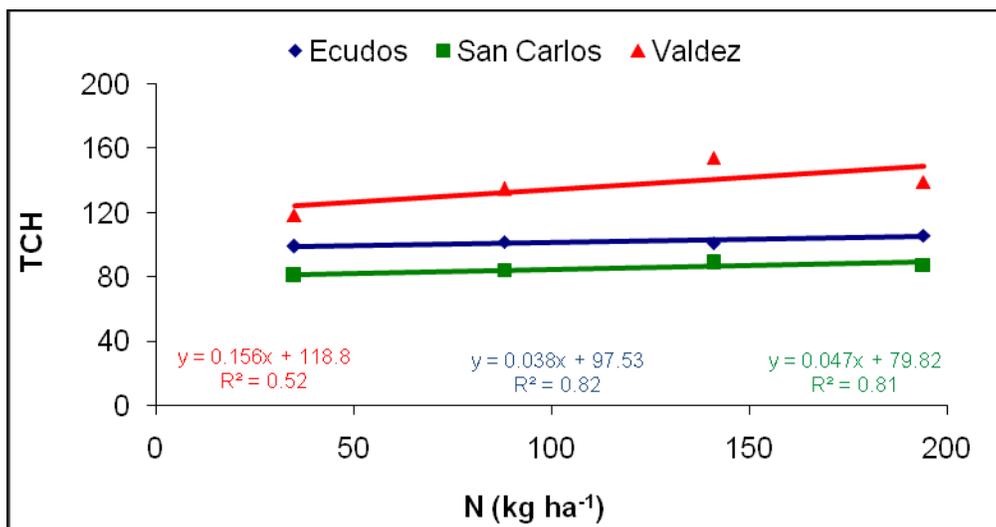


Figura 2. Relación entre los niveles de N aplicado y el TCH por var. ECU-01 en caña planta, en tres localidades. 2008

A pesar que no se evaluó un nivel de cero nitrógeno (parcela omisión, que ayudaría a determinar el aporte de nitrógeno proveniente del suelo) se consideró el nivel de 35 kg ha⁻¹ de N para comparar con los otros niveles de N aplicado y así determinar la eficiencia agronómica de N y la eficiencia de recuperación del mismo. Boaretto et al., 2007, manifiestan que la eficiencia agronómica es un parámetro que ayuda a determinar la eficiencia del uso de N, especialmente en cultivos de alta productividad. Sin embargo, hay que buscar un equilibrio entre la alta eficiencia y la productividad del cultivo porque a medida que se incrementan las dosis de N los incrementos de producción se van disminuyendo.

La Figura 2, muestra mayor eficiencia agronómica en el ingenio Valdez que en las otras localidades; obteniéndose adicionalmente 160, 47 y 38 kg de caña /kg de N aplicado, en Valdez, San Carlos y ECUDOS, en ese orden. Un estudio en el ingenio San Carlos (suelo Inceptisol) mostró una eficiencia de 25 kg caña/kg de N agregado en caña soca; mientras que, en Valdez (suelo Inceptisol) no hubo efecto de la aplicación de N (CINCAE, 2007b).

La eficiencia de recuperación del N (ER) permite determinar qué cantidad del nutriente proveniente del fertilizante puede ser tomado por el cultivo, siendo considerado como el principal parámetro para evaluar el resultado de las prácticas de manejo empleadas (Jassen, 1998; Witt y Dobermann, 2002). En la Figura 3, se presenta la recuperación de N en las tres localidades. Se observa que los valores de recuperación son bastante altos en el suelo inceptisol de Valdez y ECUDOS (80 y 40 %, respectivamente), especialmente en el nivel de 88 kg ha⁻¹ de N; mientras que, en las dosis más altas la eficiencia de recuperación disminuye. Un estudio en India determinó que la recuperación del N aplicado como urea fue entre 40 y 50 % cuando se aplicó 100 y 150 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, en la variedad Colk 8102 (Yadav et al., 1994)

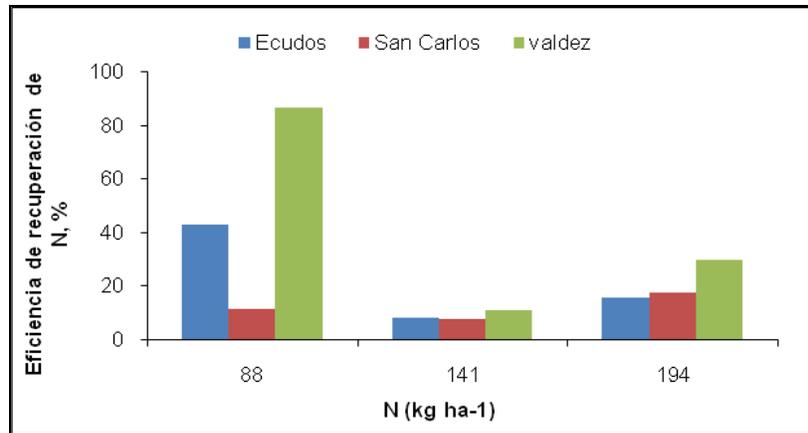


Figura 3. Eficiencia de recuperación del N por la var. ECU-01 en caña planta, en tres localidades. 2008

Considerando que la máxima producción de caña y azúcar se obtuvieron con la dosis de 141 kg ha⁻¹ de N en las tres localidades, se detectó que la recuperación del N fue menos del 20 %. Esta respuesta podría haber sido influenciada principalmente por la disponibilidad de agua y/o compactación del suelo, especialmente en los suelos de San Carlos y ECUDOS. Boaretto et al., (2007) y Janssen, (1993), citan que existe una gran variación entre los valores de recuperación del N en diferentes cultivos. Esto se debe a la variabilidad de manejo, época y dosis de aplicación, clima y suelo (fijación o pérdidas en el suelo), Además, existe una parte de N que no es contabilizado (raíces) que eventualmente enriquecen el suelo con N y puede ser aprovechado para los cultivos subsiguientes.

En San Carlos la eficiencia de recuperación del fertilizante fue baja en todas las dosis de N en estudio. En este periodo experimental esta localidad tuvo mayor precipitación, por tanto al ser un suelo Vertisol, la retención de agua fue alta, reduciendo probablemente el uso de fertilizante nitrogenado, por pérdidas de lixiviación o denitrificación, además de incidencia de enfermedades en el follaje (CINCAE, 2008, carta informativa). En ECUDOS, a pesar que el suelo en estudio fue un inceptisol pero con características de vertisol, problemas de alta y baja disponibilidad de agua pudieron haber influenciado en esta respuesta.

Estudios realizados en Surinam en maíz y sorgo mostraron que la eficiencia de utilización de N es independiente y la eficiencia de consumo es dependiente. Esto es porque la demanda de nutrientes es fuerte cuando la eficiencia es alta, por tanto, la eficiencia de

recuperación tiende a ser alta también. Cuando la eficiencia de utilización es baja la concentración de nutrientes en el cultivo es alta y la pequeña necesidad por consumo extra resulta en una baja eficiencia de recuperación (Janssen, 1998).

En cereales, la medida de recuperación de la parte aérea no debe exceder 80 y 85 %. Cuando la recuperación es alrededor del 60 %, el 40 % restante del nutriente añadido como fertilizante es propenso a pérdidas o acumulaciones en el suelo (Janssen, 1998).

Estimación de la demanda de N

Bertsh (2003), manifiesta que cada cultivo tiene exigencias nutricionales y ambientales óptimas para expresar el potencial de producción. Por lo que es necesario conocer los requerimientos nutricionales que permitirán recomendar la cantidad de nutriente a aplicarse y así, evitar la disminución en la producción.

La cantidad de nitrógeno requerido en forma total y por la cosecha (tallos) es menor en 35 kg ha⁻¹ de N; mientras que, en las otras dosis la extracción fue alta pero no consistente a niveles crecientes de este elemento. En las tres localidades, el requerimiento de N en los tallos es mayor cuando mayor es la producción de tallos; así, en Valdez el N requerido fue 98 y 169 kg ha⁻¹ de N más que los ingenios ECUDOS y San Carlos, respectivamente (Cuadro 1).

Claramente, se observa que la extracción del nitrógeno está en función de la producción; tanto que, por cada tonelada de caña se requiere en promedio 1.34, 0.77 y 1.74 kg de N para el ingenio ECUDOS, San Carlos y Valdez, en ese orden (Cuadro 1). A pesar que las regresiones lineales no fueron significativas ($R^2=0.3$), similar cantidad de N se requirió para una tonelada de caña en las tres localidades en estudio (datos no presentados). Berstch (2003), encontró que la cantidad requerida de N, P y K puede estimarse por el ajuste a 1 tonelada de caña y a través de ecuaciones lineales con alta precisión.

Un estudio preliminar realizado en el ingenio San Carlos mostró que la variedad ECU-01 extrajo entre 1.6 y 0.92 kg de N/TC en el año 2004 y 2005 respectivamente a los 6.5 y 9

meses de edad (Calle, 2006); sin embargo, no pueden ser comparados porque el muestreo no se hizo en la etapa de madurez fisiológica.

En el Cuadro 2 se presentan la producción de materia seca y la concentración de N en el tallo, hoja y cogollo obtenidos en los dos tipos de suelos. La relación hoja-cogollo:tallo observada en el ingenio San Carlos fue superior (0.32) que en ECUDOS (0.27) y Valdez (0.19), mostrando más producción de hojas-cogollos que tallo. Un ensayo realizado en México determinó que relaciones paja-tallo en cañas bien desarrolladas fueron menor a 0.35 (Inman-Barber et al., 2002, citado por García et al., 2006).

Cuadro 1. Cantidad estimada de N en kg, que se requiere para producir una tonelada de caña en forma total y por la cosecha de la var. ECU-01 en caña planta, en tres localidades. 2008

ECUDOS (Inceptisol)				
N (kg ha ⁻¹)	TCH	Extracción de N (kg ha ⁻¹)		kg N/t caña
		Total	Tallos	
35	99	218	128	1.29
88	102	241	129	1.26
141	101	227	146	1.44
194	106	240	143	1.35
San Carlos (Vertisol)				
35	81	106	56	0.69
88	84	112	61	0.72
141	89	114	61	0.69
194	88	131	84	0.96
Valdez (Inceptisol)				
35	118	332	216	1.82
88	135	378	253	1.88
141	154	343	224	1.45
194	139	373	250	1.79

Esto se puede reflejar en la distribución del N absorbido, detectándose en San Carlos que 44 % del N se encontró en las hojas-cogollos y el 56 % en tallos; mientras que, en Valdez, apenas el 30 % de lo extraído estaba en las hojas-cogollos y el 70 % en los tallos. Garcia et al., (2006) manifiestan que condiciones de exceso de humedad alteran el patrón de crecimiento de la caña de azúcar, produciendo más follaje y por tanto removiendo del suelo

mayor cantidad de nutrientes, especialmente N y S, los cuales pueden perderse si se realiza la quema. La ventaja de cuantificar los nutrientes por partes vegetativas permite determinar la cantidad de elemento que se puede reciclar cuando se dejan los residuos en el campo (Bertsh, 2003).

Cuadro 2. Producción de materia seca (MS) y contenido de N de tallos, hojas y cogollos de la variedad ECU-01, en el nivel de 141 kg N ha⁻¹, en caña planta, en tres localidades. 2008

ECUDOS			
Variables	Tallos	Hojas	Cogollos
MS (t ha ⁻¹)	42.3	11.6	1.6
N %	0.34	0.63	0.60
San Carlos			
MS (t ha ⁻¹)	30.46	9.76	0.97
N %	0.20	0.52	0.58
Valdez			
MS (t ha ⁻¹)	69.93	13.41	1.22
N %	0.36	0.82	0.72
ECUDOS			
Variables	Tallos	Hojas	Cogollos
MS (t ha ⁻¹)	42.3	11.6	1.6
N %	0.34	0.63	0.60
San Carlos			
MS (t ha ⁻¹)	30.46	9.76	0.97
N %	0.20	0.52	0.58
Valdez			
MS (t ha ⁻¹)	69.93	13.41	1.22
N %	0.36	0.82	0.72

En general, la concentración de N a los 11 meses después de la siembra (mds) fue más baja en los tallos que en hojas y cogollos; sin embargo, en suelos del orden Inceptisol (ECUDOS y Valdez) la concentración en las partes vegetativas de la caña fueron altas comparando con el suelo Vertisol (San Carlos). En cada localidad, no se detectó una deficiencia de N al relacionarse la concentración de N en el follaje con la producción; por tanto se determinó rangos de N en los primeros tres y seis mds (2.5 – 2.8 %) y (2.0 – 2.4 %), en su orden, llegándose a sugerir que entre los factores que limitan la absorción de nutrientes está el alto contenido de arcilla, que retiene mayor humedad y la denitrificación

(Weir, et al., 1996 citado por García et al. 2006). Durante este periodo de estudio, el ingenio San Carlos recibió en cuatro meses (enero – abril) 500 y 819 mm de lluvia más que los ingenios Valdez y ECUDOS, respectivamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La producción de caña y azúcar de la variedad ECU-01 dependió del tipo de suelo, localidad, manejo del cultivo y condiciones climáticas. La mayor respuesta de producción se encontró en el nivel de 141 kg ha⁻¹ de N, con una menor recuperación del fertilizante, presentándose la mayor eficiencia agronómica en el ingenio Valdez con 160, 47 y 38 kg de caña adicional por cada kg de N aplicado

La extracción de nitrógeno (kg ha⁻¹) permite conocer la cantidad de nutriente requerida para determinada producción. Sin embargo, es necesario recopilar información para situaciones particulares, para tener un mayor afinamiento de un programa de fertilización. Por lo que es necesario conocer la producción potencial de la variedad ECU-01, en diferentes sitios.

La respuesta al nivel alto de N pudo estar influida por el bajo contenido de MO que tiene el suelo, por lo que es necesario realizar ensayos de N a diferentes concentraciones de MO en el suelo; además, conocer cuál es la entrega de N por parte del suelo para argumentar técnicamente las recomendaciones de fertilización.

BIBLIOGRAFÍA

- Boaretto A.; Muraoka T.; Trevelin P. 2007. Uso eficiente del nitrógeno de los fertilizantes convencionales. *Informaciones Agronómicas*, IPNI, no. 68. Enero 2008:13-14
- Cassman KG., Dobermann A and Walters DT. 2002. *Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency and Nitrogen Management*. Royal Swedish Academy of Sciences, 2002. *Ambio* Vol. 31 No.2, March 2003. p. 132 – 140
- CINCAE (Centro de Investigación de la caña de Azúcar del Ecuador). 2004. *Carta Informativa* 6(5): 7-9
- CINCAE (Centro de Investigación de la caña de Azúcar del Ecuador). 2005. *Carta Informativa* 7(5): 5-7
- CINCAE (Centro de Investigación de la caña de Azúcar del Ecuador). 2007. *Manual de Laboratorio Químico*. 79 p.

- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL LA CAÑA DE AZÚCAR DEL ECUADOR. 2007b. Area de Suelos y Fertilizantes. Guayaquil, CINCAE. Informe Anual 2006. p. 30-36
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL LA CAÑA DE AZÚCAR DEL ECUADOR. 2008. Area de Suelos y Fertilizantes. Guayaquil, CINCAE. Informe Anual 2007. p. 31-35
- Dobermann A and Witt C. 2002. A Site-Specific nutrient management approach for irrigated, lowland rice in Asia. *Beter Crops International* vol. 16, No. 1, May 2002. p. 29-24
- Dobermann A.; Witt S.; Abdulrachman H.; Gines, R.; Nagarajan T.; Son P.; Tan G.; Wang N.; Chien V.; Thoa C.; Phung P.; Stalin P.; Muthukrishnan V.; Ravi M.; Babu G.; Simbabhan M. 2003. Estimating indigenous nutrients supplies for site-specific nutrient management in irrigated rice. *Agronomy Journal* 95:924-935
- Garcia S.; Palma D.; Lagunes L.; Ortiz C y Ascencio J. 2006. Bases para generar un programa sustentable de fertilización en el Ingenio Santa Rosalía, Tabasco, Mexico. En VI Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe. ATALAC. Guayaquil, Ecuador. 12-15 Sept-2006. p. 215 – 228
- Janssen B. 1998. Efficient use of nutrients: an art of balancing. *Field Crop Research* 56:197-201
- Quintero R. 1995. Fertilización y Nutrición. En el cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. ATALAC. CENICAÑA. Cali, Colombia. p. 153-170
- Thurburn P.; Meier E.; Probert M. 2005. Modelling nitrogen dynamic in sugarcane systems: Recent advances and applications. *Field Crops Research* 92: 337-351
- Yadav RL, Prasad SR, Ramphal S; Srivastava VK. 1994. Recycling sugarcane trash to conserve soil organic carbon for sustaining yields of successive ratoon crops in sugar cane. *Bioresource Technology* 49:231-235